

Otimização de Processo de Conformação
utilizando
Método de Simulação por Elementos Finitos

Schmitt, Pedro D.¹
Pinotti, Luciano²
Carminati, Marcelo³
Keller, Jhan M.⁴
Arfmann, Gehard H.⁵

Resumo:

Durante o projeto de um processo ou após o desenvolvimento de um item de conformação a frio é comum encontrar uma ou mais ferramentas que não atingem a vida projetada inicialmente. Diversas soluções são utilizadas para melhoria de vida e minimização das possíveis causas, mas nem sempre surtem efeitos desejados. Neste estudo de caso, um problema de baixa durabilidade do ferramental estava provocando aumento considerável nos custos produtivos e necessidade de mais equipamentos produtivos para manter o abastecimento do cliente. O problema foi tratado através da utilização da ferramenta de análise por elementos finitos. Com esta sistemática encontrou-se uma solução simples e de rápida aplicação. A análise do problema passou pela simulação das etapas atuais e verificação das regiões de maiores tensões. Durante as análises se detectou a principal razão de falha prematura e a solução aplicada surtiu o efeito desejado. Este procedimento teve sucesso aumentando consideravelmente a vida do ferramental.

Palavras Chaves: conformação a frio, simulação por elementos finitos, tensões.

1. Introdução

O presente trabalho apresenta um estudo de caso com aumento em produtividade em um processo de conformação a frio de item automotivo. Este aumento de produtividade se fazia necessário, pois a baixa eficiência do processo estava inviabilizando o fornecimento do item. O mesmo trata de variáveis de tensão de conformação, tensões no ferramental, deformação no material e tipo de material utilizado no ferramental. Estas variáveis influenciam a vida do ferramental, desta forma o aumento de produtividade é alcançado com o aumento desta vida, reduzindo o tempo de setups.

As análises e conclusões são obtidas por comparação entre os valores antes e depois das modificações propostas. Não se tem o intuito de estipular valores a serem alcançados.

1- Eng. Pedro David Schmitt, Diretor Técnico, Aço Peças Ind. Peças de Aço Ltda

2- Eng. Luciano Pinotti, Gerente Engenharia, Aço Peças Ind. Peças de Aço Ltda

3- Tec. Marcelo Carminati, Projetista Processo, Aço Peças Ind. Peças de Aço Ltda

4- Jhan Michel Keller - Estudante de Graduação em Engenharia Produção Mecânica, UFSC

5- Dr. Gehard H. Arfmann - CEO, CPM GmbH, Herzogenrath, Germany

2. Descrição do Problema

O item em estudo é fabricado em aço DIN 16MnCr5 seu processo e forma final estão ilustrados na figura 1.

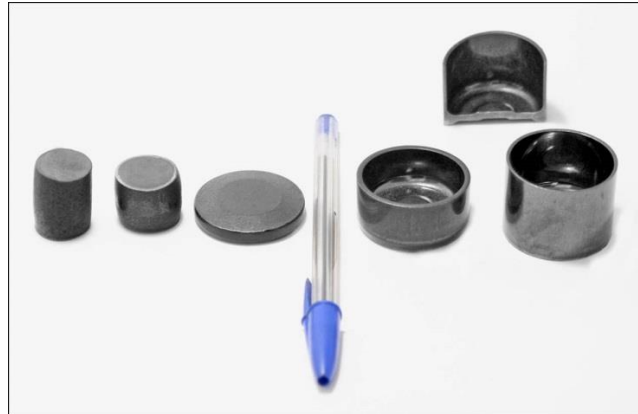


Fig. 1- Imagem do processo e item forjado a frio.

Durante o desenvolvimento e projeto do processo foram resolvidos cálculos empíricos para analisar as condições técnicas de cada operação. O processo definido envolve diversas operações, desde corte por cisalhamento, recalques, extrusão para trás e trefila para calibração. A penúltima etapa de conformação é uma extrusão para trás, nesta ocorre a formação de caneca de parede fina, esquematicamente representada na figura 2. As equações e resultados dos cálculos estão apresentados na figura 3. Estes apontam uma deformação $\varphi=1,81$ resultando em tensões de conformação da ordem de $kf = 850$ MPA. Baseado em Lange-Kammerer [1] e em comparação com processos anteriores onde este mesmo material foi utilizado, conclui-se que a operação é possível.



Fig. 2 - Operação de extrusão para trás.

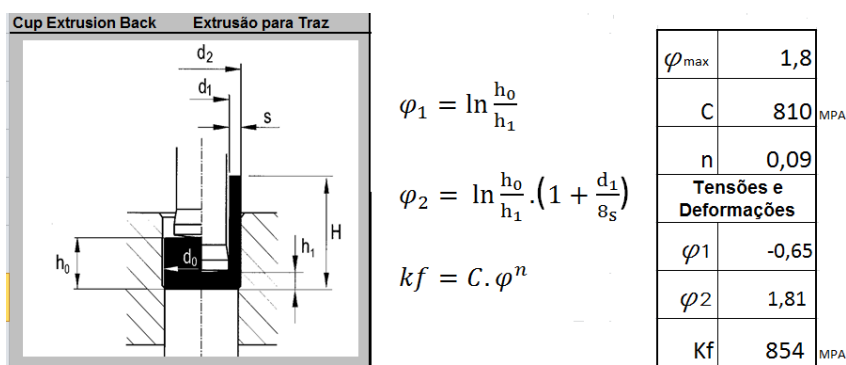


Fig. 3 - Cálculo de deformações e tensões segundo Lange-Kamerer, Fließpressen [1][pag 500]

Após todos os cálculos e verificações por comparações com projetos anteriores foi confeccionado todo o ferramental. O punção de conformação da operação de extrusão foi confeccionado em aço rápido M2 com revestimento em TiAlN, seu formato e perfis podem ser

observados na figura 4. As características dimensionais do item foram todas atendidas e a produção foi iniciada com entregas regulares.



Fig. 4- Punção em M2 + coating em TiAlN

Com o andamento da produção, problemas de entregas começaram a acontecer, pois a quantidade produzida não alcançava a necessidade do cliente. O problema se concentrava na baixa produtividade do processo devido ao excesso de paradas por quebra de ferramental. O punção da operação de extrusão para trás estava sofrendo uma quebra prematura que prejudicava muito a produtividade do processo, dificultando a entrega.

A falha do punção era catastrófica, e o início da trinca sempre se dava na região central próxima ao raio interno conforme indicado na figura 5 e 6.



Fig. 5 – Região início da trinca



Fig. 6- Punção trincado

Este era o problema e a equipe técnica da Açopecas precisava urgentemente encontrar uma solução.

Como primeira tentativa iniciou-se testes com outros tipos de material para este punção.

3. Material da Ferramenta

Foram realizados estudos para melhoria de vida através da alteração do material da ferramenta e do tratamento térmico. Estes estudos se dedicaram na comparação entre dois materiais o AISI M2 e AISI M3:2 (sínter 23) em diferentes faixas de dureza. As microestruturas destes materiais são bem distintas e poderiam indicar uma razão para os baixos valores de vida do M2. Seguem imagens que mostram a diferença entre estas microestruturas (figuras 7 e 8). Estas microestruturas apontam o alinhamento de carbonetos no M2, contra uma ótima dispersão no aço M3:2.

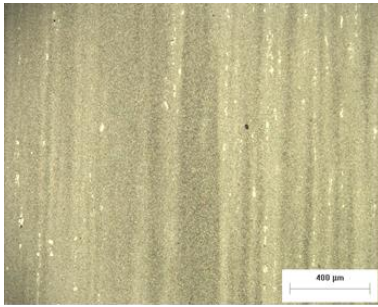


Fig. 7- Microestrutura do punção em M2



Fig. 8- Microestrutura do punção em M3:2

Mesmo com a inexistência de alinhamento de carbonetos no aço M3:2, a trinca acontecia com a mesma morfologia do aço M2. Ao final dos testes e cruzamento das informações, não se chegou a valores de aumento de vida consideráveis. As combinações dos melhores resultados não se repetiam. Concluiu-se que a mudança de material não surtia o efeito desejado.

Então com o problema se agravando devido o aumento de demanda, a equipe se voltou para uma análise mais detalhada das tensões envolvidas nesta operação, e decidiu-se simular a operação de formação da caneca de parede fina em software específico de análise de deformação por elementos finitos.

4. Análise das tensões por simulação

A etapa de conformação do furo foi simulada com software Eesy-form [5]. A operação foi simulada a partir do formato da pré-forma, pois os blanks são recozidos nesta etapa do processo. A simulação representou com exatidão as formas resultantes no processo real. Com base nisto passou-se a avaliar as tensões em todos os passos da simulação. Analisando o gráfico de evolução das duas principais tensões ao longo do trajeto da ferramenta (figura 9), verifica-se que existe uma faixa crítica. Esta faixa apresenta picos de tensões positivas mais pronunciadas. Com base nesta análise detecta-se que, o momento imediatamente anterior a formação final do ressalto do fundo da peça, provoca um esforço exagerado no punção.

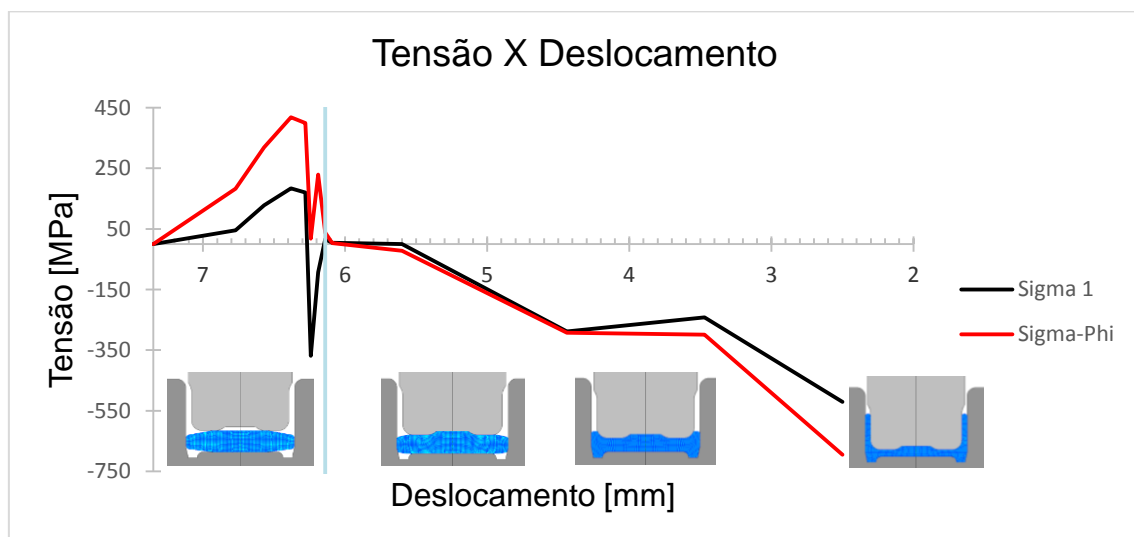


Fig. 9 – Gráfico Tensão x Deslocamento da simulação da operação de extrusão para trás

A partir desta conclusão as análises se concentram nesta faixa. Os resultados de tensões para esta faixa são analisados para detectar uma região sobre o punção onde estas tensões apresentam máximos. Estes resultados estão apresentados nas figuras de 10 e 11 para as tensões sigma-1 e sigma-phi.

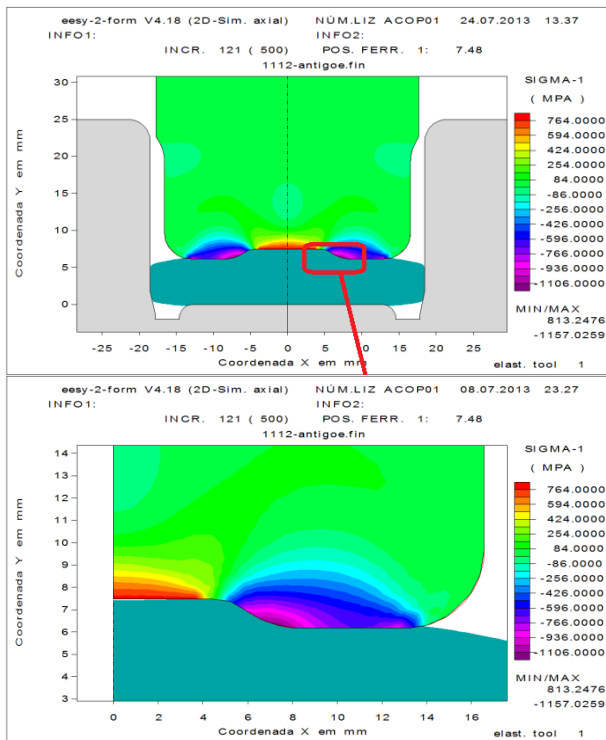


Fig. 10 – Tensão normal 1 (Sigma -1)

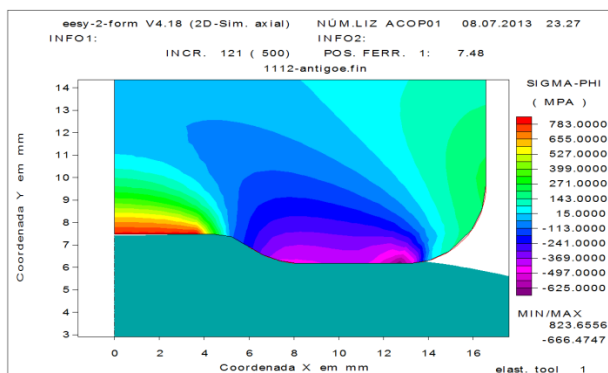


Fig. 11 - Tensão normal na direção tangencial (Sigma - Phi)

A simulação também apontou que os valores altos de tensões coincidem com a região de início de trinca, evidenciando que a principal causa de falha era a fadiga prematura, devido concentração de esforços de tração na região do raio próximos ao fundo.

A partir desta conclusão, diversas novas soluções são apresentadas, uma delas é muito óbvia: “mudança da pré-forma”.

5. Análise das tensões após alteração

Com a conclusão sobre a região de concentração de tensões está acontecendo imediatamente ao toque do material no fundo do punção, decidiu-se mudar o formato da pré-forma. A pré-forma passaria a ter uma ponta que toca no fundo do punção logo no início da conformação. A figura 12 mostra a mudança a ser feita na pré-forma.

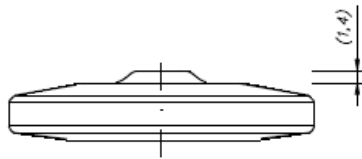


Fig. 12 – Pré-forma alterada

Esta solução foi analisada por simulação antes da alteração do ferramental. O gráfico da figura 13 mostra mudança nos valores de tensão ao longo da conformação do item.

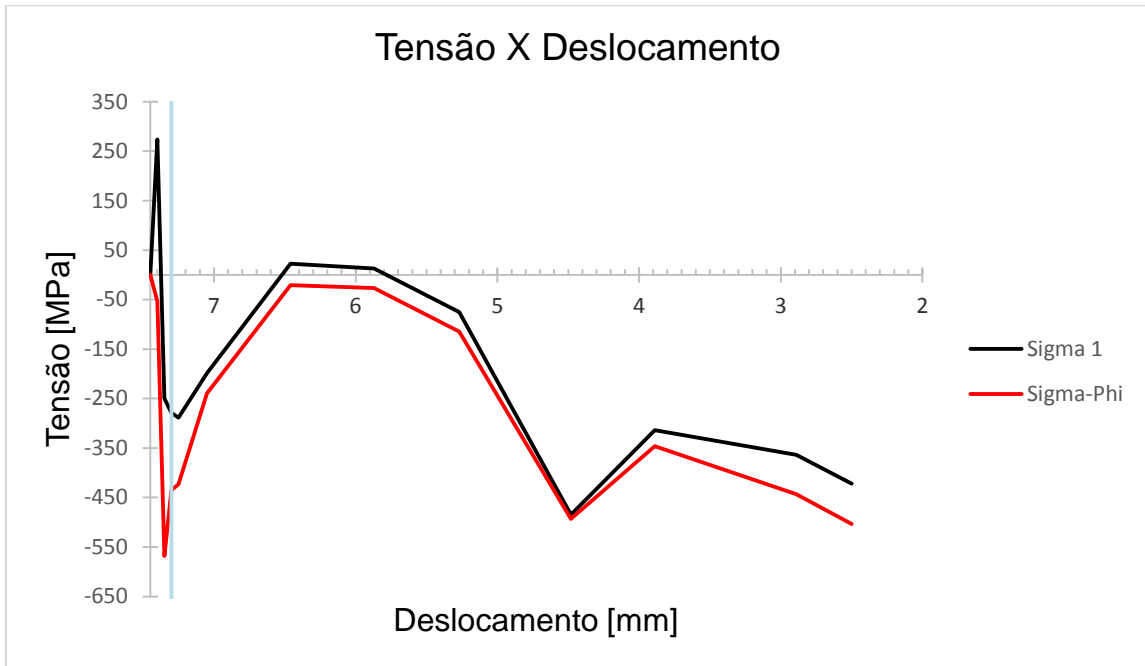


Fig. 13 – Gráfico Tensão x Deslocamento da simulação da operação de extrusão para trás após alteração

Os valores das principais tensões no mesmo momento crítico são apresentados nas figuras 14 e 15. Constatou-se que os valores reduziram-se significativamente no ponto sob análise. A tensão normal tangencial (Sigma-Phi) reduziu de 800 MPa para ordem de 60 MPa e a tensão normal da direção X (Sigma-1) reduziu de 800 MPa para 90 MPa.

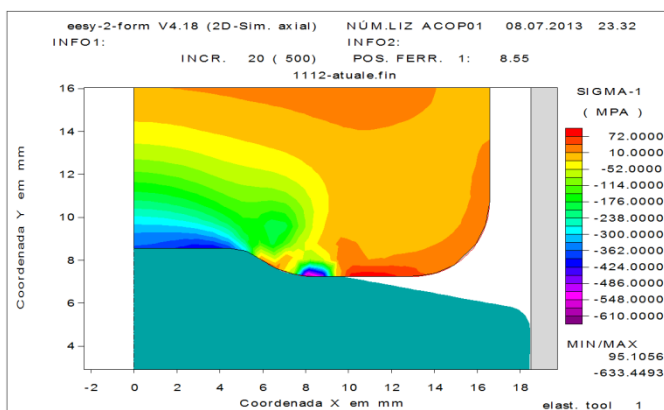


Fig. 14 - Tensão normal 1 (Sigma - 1)

Operação	Descrição	Data	Data		quantidade	vida
012	Punção furo	entrada	Saída		produzida	média
furo	1112	05/01/2013	22/01/2013	1	306862	
		23/01/2013	01/02/2013	1	159514	
		02/02/2013	07/02/2013	1	159009	
		08/02/2013	25/02/2013	1	310984	
		26/02/2013	06/03/2013	1	82310	
		07/03/2013	14/03/2013	1	249464	
		02/04/2013	05/04/2013	1	109904	
		06/04/2013	11/04/2013	1	117252	
		12/04/2013	16/04/2013	1	147344	
		19/04/2013	24/04/2013	1	127711	
		25/04/2013	26/04/2013	1	149130	
		27/04/2013	03/06/2013	1	712489	
		04/06/2013	20/06/2013	1	361138	
		21/06/2013	30/06/2013	1	123517	
	Total			14	3.116.627	222.616

Fig. 17 - Relatório de controle de ferramental – Açopeças - período 05/01/2013 a 30/06/2013

A mudança significativa na vida do ferramental comprovou que o modo de falha do ferramental mudou, pois ocorreu um aumento em 14 vezes a média de vida do ferramental. A produção conseguiu melhorar seu ritmo e produtividade resolvendo o problema de entrega do item.

7. Conclusão

Este estudo vem a corroborar a importância do uso da ferramenta de FEA (análise por elementos finitos) no processo de conformação a frio. O mesmo demonstra claramente que muitos tempos e custos podiam ser evitados, se durante o desenvolvimento do mesmo todas as etapas tivessem sido simuladas e analisadas antes dos testes ou fabricação das ferramentas. O uso constante da ferramenta de FEA aprimora os resultados e melhora a capacidade de análise do projetista de processo de conformação. O antigo método de projetar-testar-modificar precisa ser substituído pelo uso da FEA no início do projeto de qualquer processo. Muito obrigado a todos que colaboram com este estudo.

8. Referências

- 1- LANGE, Kurt; KAMMERER, Manfred; PÖHLANDT, Klaus; SCHÖCK, Joachim. **Fliesspressen: Wirtschaftliche Fertigung metallischer Präzisionswerkstücke**. Berlim: Springer, 2008. ISBN 978354030909-3.
- 2- ARFMANN, Gerhard H.; TWICKLER, Michael. **Cold Forging Process and Tool Design: How to use the simulation method most effectively**. In: 16° Conferência Internacional de Forjamento, Porto Alegre, 2012.
- 3- SCHAEFFER, Lírio; ROCHA, Alexandre da Silva. **Conformação mecânica: cálculos aplicados em processos de fabricação**. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2007. 243 p. ISBN 9788576970736.
- 4- RODRIGUES, Jorge; MARTINS, Paulo. **Tecnologia Mecânica: Tecnologia da Deformação Plástica Vol I Fundamentos Teóricos**. Lisboa: Escolar Editora, 2010. ISBN 978972592279-8.
- 5- **Eesyform Software**, CPM Training Material, CPM GmbH, Herzogenrath, Germany, 2012